4X

УДК 004.932.4

М.В. Хисамутдинов
НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева
ЮФУ, г. Таганрог, Россия
L-V-P@yandex.ru

Фильтрация изображений с целью выделения эллипсов

Разработан алгоритм фильтрации изображений с целью выделения эллипсов. Данный алгоритм используется в системе бесконтактного определения разновысотности головок ТВС (СБОР), находящихся в водной среде в активной зоне реактора энергоблока 1 Волгодонской АЭС.

Введение

Одним из приоритетных направлений в области бесконтактного определения и измерения геометрических параметров объектов является создание телеметрических систем контроля, позволяющих получать изображение измеряемых объектов при помощи видеокамеры и производить их анализ при помощи методов цифровой обработки сигналов, реализованных на базе персонального компьютера. Это направление реализовано в системах компьютерного (машинного) зрения и отражено в научных трудах В.А. Сойфера [1], Э. Прэтта [2], К.Е. Румянцева, В.А. Зиброва и С.Л. Балабаева [3], а также зарубежных изданиях [4], [5].

Объектом разработки является система бесконтактного определения разновысотности головок ТВС, находящихся в водной среде в активной зоне реактора.

Предметом разработки является алгоритм фильтрации изображения с целью выделения эллипсов.

Целью является разработка и внедрение алгоритма фильтрации изображений в систему бесконтактного определения разновысотности головок ТВС, находящихся в водной среде в активной зоне реактора энергоблока 1 Волгодонской АЭС.

1. Получение изображения

Исходными для алгоритма обработки изображения являются цифровые данные, полученные с помощью СТС («Диаконт») и представленные в виде файлов полутоновых изображений с разрешением 768×576 пикселей при 256 градациях яркости (рис. 1).

Полутоновое изображение состоит из пикселей, которые могут принимать одно из 256 значений градаций яркости. Это один из наиболее распространенных типов изображений. В большинстве случаев используется глубина яркости 8 бит на элемент изображения.

2. Применение детектора краев Кэнни

Данный этап предполагает выделение на изображении множества точек, соответствующих верхним краям цилиндров головок ТВС. Для этого осуществляется преобразование изображения к бинарному и выделение на нем контуров объектов детектором краев Кэнни (рис. 2).



Рисунок 1 – Исходное изображение



Рисунок 2 – Выделение контуров объектов детектором краев Кэнни

3. Выделение эллипсов

Поскольку верхние края цилиндров головок ТВС на изображении, в общем случае, представлены кривыми линиями второго порядка, алгоритмом предусмотрен поиск на изображении множеств точек (пикселей), для описания которых используются уравнения кривых второго порядка. Все точки, не удовлетворяющие указанному критерию, также исключаются из дальнейшего рассмотрения. В результате этого, на изображении остаются только пиксели, соответствующие эллипсам.

На данном этапе также удаляются строго вертикальные и горизонтальные отрезки. Данная фильтрация является обоснованной, так как данные отрезки на изображении в большинстве случаев представляют собой боковые грани ТВС и для дальнейших этапов

не требуются. Несмотря на то, что при удалении отрезков могут быть удалены некоторые существенные части изображения, данный фильтр значительно ускоряет работу последующих этапов обработки изображения при незначительных потерях точности.

Исходное изображения, а также изображение, полученное в результате фильтрации, приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

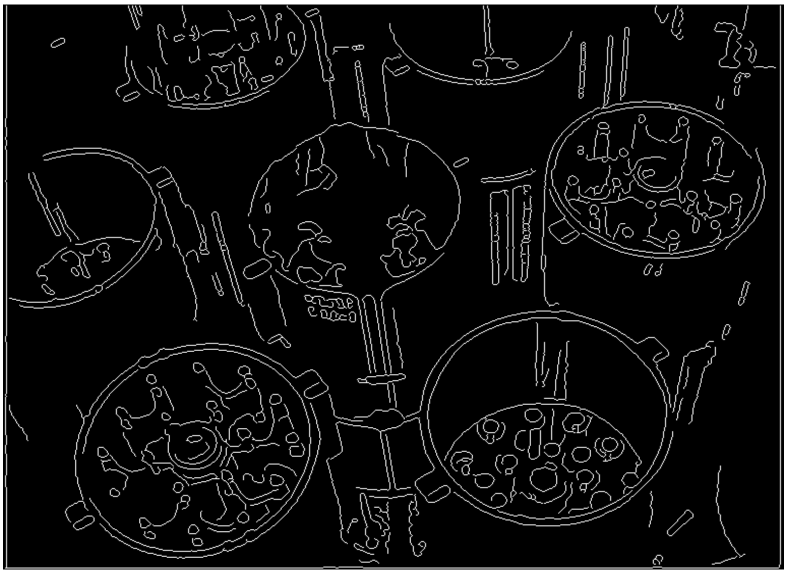


Рисунок 3 – Изображение, подаваемое на вход фильтра

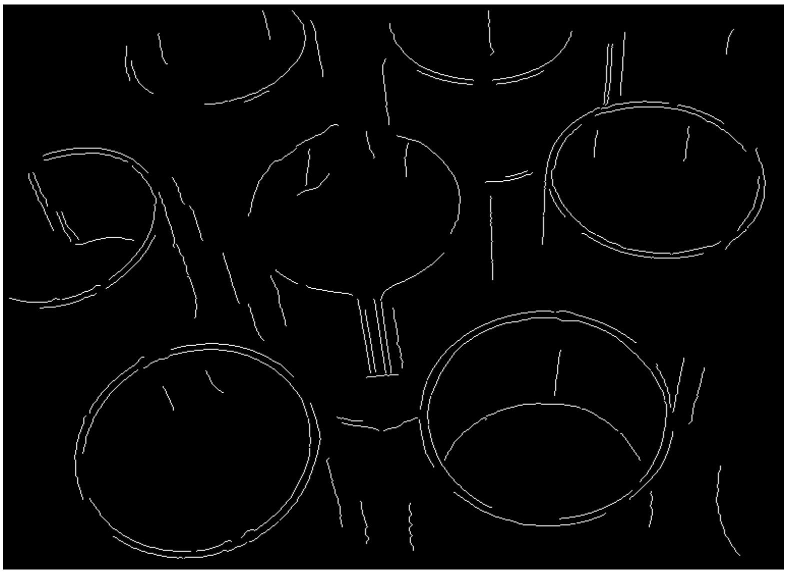


Рисунок 4 – Изображение, полученное в результате применения фильтра

4. Поиск и удаление мелких фрагментов

Для определения разновысотности необходимы только линии, соответствующие верхним краям цилиндров головок ТВС. Для этого в алгоритме предусмотрено удаление «лишних» фрагментов (рис. 5). Прежде всего удаляются фрагменты изображения, имеющие небольшие размеры (менее 100 пикселей).

Удаление с карты краев объектов малых размеров необходимо для того, чтобы «разгрузить» алгоритм от выполнения операций над объектами, несущими в себе мало полезной информации, и обработка которых приведет к существенному увеличению временных затрат на обработку изображения в целом.

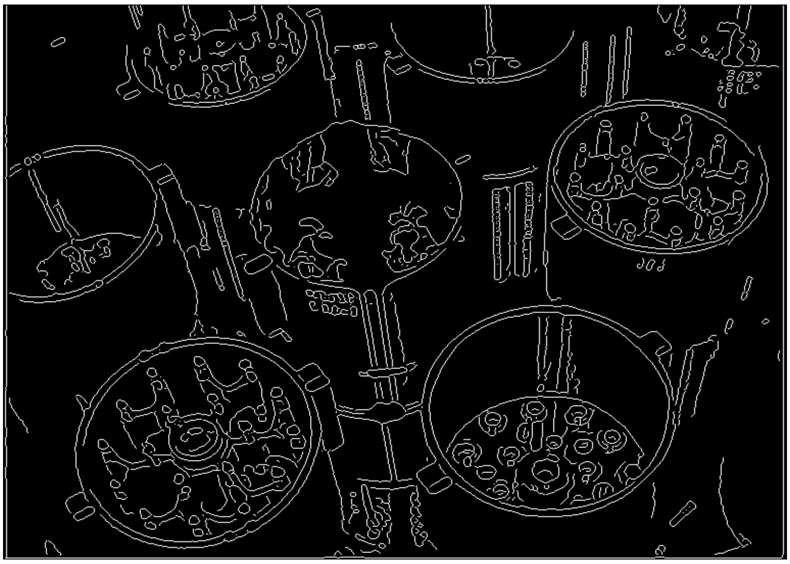


Рисунок 5 – Изображение сцены после удаления «лишних» элементов

Для этого необходимо проанализировать этот массив, выделив в нем связанные пиксели и объединив их в группы. Связанными будут являться два пикселя, соприкасающиеся сторонами или углами. Связанные пиксели должны быть объединены в группы, которые, в свою очередь, пронумерованы.

В результате анализа бинарного изображения создается матрица L размером 768×576, каждый элемент которой соответствует пикселю изображения с такими же координатами. Значение элемента определяется номером соответствующей группы связанных пикселей.

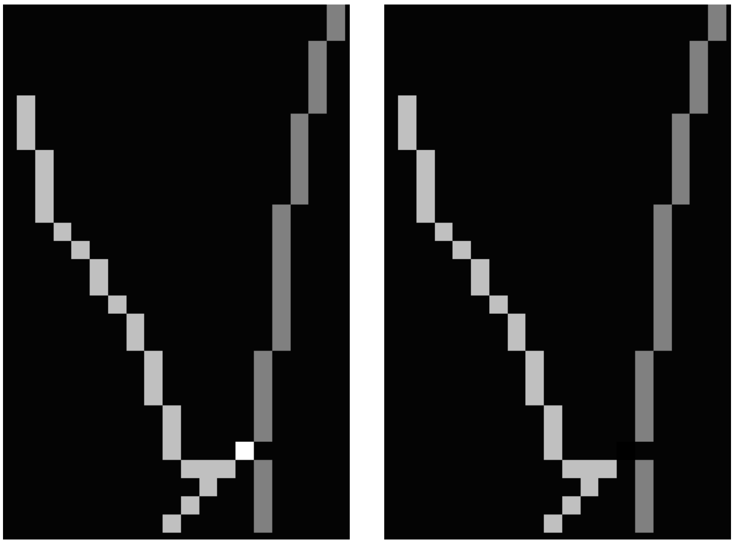
5. Поиск и удаление узловых точек объектов

Под узловыми точками подразумеваются такие точки (пиксели) объекта, которые имеют 3 и более соседних пикселей, принадлежащих этому же объекту. После обнаружения краев детектором Кэнни в общем случае получаются восьмисвязные объекты толщиной в один пиксель. Из-за теней, бликов и прочих факторов на карте краев появляются участки объектов, не принадлежащих фактическим дугам. В качестве примера рассмотрим рисунок .

Справа более темным показан участок дуги эллипса, являющегося контуром верхней поверхности ТВС, а слева (светлее) – паразитный участок края, появившийся на карте краев вследствие блика (рис. 6а). Очевидно, что в матрице **L** оба участка (полезный и паразитный) будут принадлежать одному объекту, однако только пиксели первого необходимы для определения разновысотности.

Для разделения подобных участков будем удалять точки, соединяющие эти участки. Такие точки всегда имеют три и более соседних пикселя, принадлежащих тому же объекту, что и они сами. Для отделения от полезных участков контура паразитных необходимо удалить с карты краев эти узловые точки и повторить операцию удаления небольших объектов.

При удалении узловых точек соответствующие им элементы матрицы **BW** также обращаются в 0 (рис.6б).



а) б)

Рисунок 6 – Паразитный участок объекта и узловая точка

После удаления всех узловых точек на бинарном изображении остаются элементы краев изображения в виде прямых и дуг. Для измененного изображения вновь пересчитывается матрица L и определяются крайние (концевые) элементы.

6. Выбор дуг

Среди многих сегментов контура изображения сначала необходимо идентифицировать те, которые могут быть частью эллипса. Для этого требуется вписывать эллипс в короткие сегменты дуг. Вписывание эллипса во множество точек, покрывающих очень маленький угол, очень неустойчиво. Вместо этого предпочтительней вписывать окружности, которые локально хорошо аппроксимируют эллипс, и процесс их вписывания значительно быстрее и более устойчив.

Разбиению контуров на дуги должна предшествовать нумерация пикселей внутри каждой группы. Обычно нумерация пикселей внутри группы осуществляется слева направо, сверху вниз. Нумерация необходима для того, чтобы при разбиении дуг на сегменты в новую подгруппу не попали не связанные с ней пиксели.

7. Поиск конечных точек сегментов дуг

При поиске концевых точек нужно учитывать, что изображение содержит восьмисвязные объекты толщиной в один пиксель. Все точки объектов, кроме двух концевых, имеют по два соседних пикселя, принадлежащих тому же объекту. Концевые точки имеют по одному соседу, что делает их исключительными и облегчает процесс их обнаружения. Пиксель, связанный только с одним пикселем, принадлежащим этому же объекту, считается концевым и его координаты записываются в массив концевых точек.

В результате выполнения описанного этапа алгоритма дополнительно формируется массив данных о координатах двух крайних точек в каждой группе пикселей.

8. Группировка дуг

На данном этапе группы формируются последовательным добавлением дуг, для которых выполняются условия группировки [6], это требование не является осуществимым, т.к. в процессе группировки необходимо осуществить 2^N операций проверки условий группировки, где N – число всех дуг. В рисунках, представленных в наборе N = 100, следовательно, такой перебор осуществить невозможно. В лучшем случае за приемлемое время можно проверять все группы по 2 и 3 дуги, но в этом случае снижается точность построения эллипсов. Поэтому был предложен новый, модифицированный алгоритм группировки дуг.

Данный алгоритм предполагает формирование двух множеств, описывающих группы с последующим анализом пересечения полученных множеств. Первое множество строится на основании анализа вписываемых окружностей, аппроксимирующих дуги, а второе на основании пересечения касательных на концах дуг. Алгоритм группировки дуг на основании пересечения касательных является реализацией модифицированного алгоритма, описанного в работе [6]. В результате были получены хорошие группы для этапа вписывания эллипсов за полиномиальное время.

Алгоритм группировки дуг на основе анализа вписываемых окружностей

Входными данными рассматриваемого алгоритма являются группы координат точек, представляющие собой неразрывные отрезки на изображении. Данный формат входных данных был выбран по той причине, что группировка дуг на изображении предполагает использование нескольких алгоритмов группировки, в связи с чем выбор неразрывных отрезков на изображении каждым алгоритмом приведет к повторному выполнению одной и той же задачи, а также, в худшем случае, может привести к рассогласованию в нумерации неразрывных отрезков изображения.

Алгоритм формирует список групп дуг, включающий в себя группы из одного и более отрезков изображения. При построении данного списка используется следующий алгоритм.

1. Инициализация списка.

На данном этапе в список групп дуг включаются номера всех подаваемых на вход алгоритма отрезков изображения. Таким образом, по завершении данного этапа список будет содержать все группы дуг, состоящих из одной дуги.

2. Расширение списка дуг.

На данном этапе осуществляется дополнение списка групп дуг новыми группами, содержащими две и более дуги. На этом этапе формируется список новых дуг, который включается в итоговый список групп. Это повторяется до тех пор, пока сформированный список будет содержать хотя бы одну группу дуг. Операция формирования нового списка групп осуществляется следующим образом.

2.1. Из сформированного списка выбирается набор групп дуг, таких, что количество дуг, входящих в каждую группу, будет максимальным среди всех групп списка.

2.2. Во все группы дуг из полученного списка последовательно добавляются все дуги, поданные на вход алгоритма.

2.3. В результате такого комбинирования дуг, количество получаемых групп катастрофически возрастает и может привести к так называемому «экспоненциальному взрыву». Чтобы избежать данной ситуации, из списка исключаются все группы, не удовлетворяющие эвристическому правилу определения возможности вписывания эллипса в группу на основе анализа вписываемых окружностей, описанному далее.

2.4. В случае, если полученный в результате комбинирования список групп содержит хотя бы одну группу, этап 2 повторяется для списка, содержащего как группы, полученные на предыдущих этапах, так и сформированный список групп.

3. Анализ итогового списка дуг.

На данном этапе из полученного списка дуг исключаются все группы дуг, содержащие только одну дугу. Группы, содержащие одну дугу, мало пригодны для вписывания эллипсов в последующих этапах, так как ни одна дуга исходного изображения не может обеспечивать развертку эллипса более, чем на 180 градусов. Таким образом, попытка вписывания эллипсов в группу из одной дуги приведет к получению эллипсов с неточными параметрами и лишь замедлит выполнение последующих этапов.

Правило определения возможности вписывания эллипса в группу на основе анализа вписываемых окружностей

Данное правило является эвристическим и может быть впоследствии изменено.

Определение возможности вписывания эллипса осуществляется путем последовательной проверки выполнения условий, накладываемых на полученную группу дуг. Данные правила основаны на анализе предварительно вписываемых в каждую дугу окружностей. Окружности вписываются в соответствии с алгоритмом, предложенным в [1].

К правилам проверки возможности вписывания эллипса относятся:

1. Проверка пересечения окружностей.

Данная проверка позволяет проверить близость дуг, входящих в рассматриваемую группу. Группы, состоящие из дуг, расположенных на большом удалении друг от друга, будут отфильтрованы при проверке данного условия.

2. Проверка на близость размеров радиусов вписанных окружностей.

Данная проверка позволяет удалить из списка группы, содержащие дуги, радиусы окружностей которых значительно отличаются.

3. Проверка на близость точек, принадлежащих разным дугам.

Данная проверка позволяет удалить из списка группы, содержащие дуги, принадлежащие внутреннему и внешнему радиусам одного и того же ТВС и находящиеся близко друг от друга.

4. Проверка точек по совпадениям в пределах одного октанта.

В случае обнаружения точек двух разных дуг, принадлежащих одинаковым октантам, проводится проверка, гарантирующая, что из списка групп будет удалена группа, содержащая дуги, принадлежащие одновременно предполагаемой ТВС и одной из прилежащих к ней ТВС.

В случае выполнения всех этих условий считается, что в рассматриваемую группу возможно вписать эллипс на последующих этапах.

9. Вписывание эллипсов

Для дальнейшей обработки каждой такой группе пикселей ставится в соответствие уравнение эллипса, описывающее множество его точек на изображении.

При этом использовались стандартные функции открытой библиотеки компьютерного зрения Intel OpenCV cvFitEllipse.

Полученные в результате эллипсы ранжируются по степени совпадения (число совпавших пикселей, деленное на длину замкнутой кривой эллипса). Каждая гипотеза эллипса с меньшим рангом, имеющая общую дугу с гипотезой более высокого ранга, отсекается, поскольку каждая дуга должна быть частью только одного эллипса. Среди оставшихся гипотез эллипсов окончательно в качестве «хороших» эллипсов выбираются те, которые имеют ранг значительно выше среднего. Пример эллипса, наложенного на исходное изображение, показан на рис. 7.

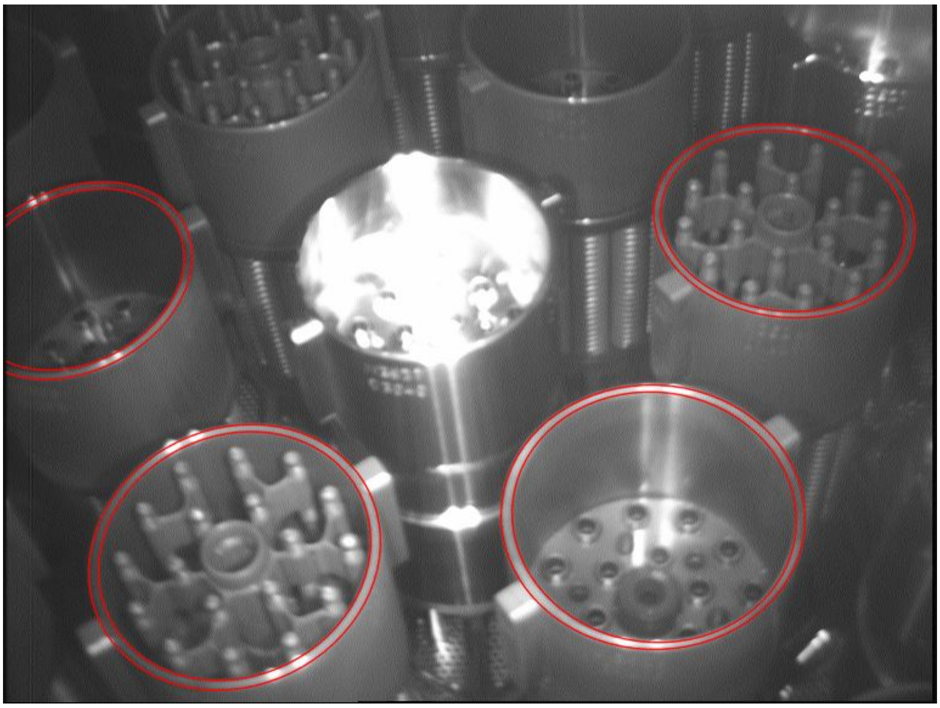


Рисунок 7 – Изображение с наложенными эллипсами

Уравнение каждого эллипса позволяет определить центр и размеры полуосей. Их значения заносятся в выходной массив, чем завершается обработка изображения с текущего ракурса и осуществляется переход для получения следующего изображения.

Заключение

Разработан алгоритм выделения эллипсов на изображении используемого в бесконтактном методе определения разновысотности головок тепловыделяющих сборок активной зоны реактора АЭС на основе реконструкции трехмерных изображений. В работе приводится подробное описание всех этапов алгоритма фильтрации изображения.

Предполагается, что разработанный метод будет использован при создании систем бесконтактного определения разновысотности головок ТВС на энергоблоках АЭС с реактором типа ВВЭР России, стран СНГ и за рубежом. Внедрение подобных систем будет обеспечивать экономический эффект не менее 24 млн рублей в год, повысит безопасность эксплуатации ядерного реактора и позволит обрабатывать данные в режиме реального времени.

Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
2. Прэтт Э. Цифровая обработка зображений: Пер. с англ. / Под ред. Д.С. Лебедева. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
3. Балабаев С.Л., Зибров В.А., Румянцев К.Е. Бесконтактное измерение геометрических размеров изделий прокатно-металлургического производства: Монография / Под ред. К.Е. Румянцева. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2004. – 154 с.
4. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
5. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман: Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 725 с.
6. Методы бесконтактного определения разновысотности головок ТВС и их описание/ С.Л. Балабаев, К.Е. Румянцев, В.Г. Радецкий, В.В. Коробкин / Отчет «Разработка и внедрение системы бесконтактного определения разновысотности головок ТВС в активной зоне реактора энергоблока 1 Волгодонской АЭС» – Таганрог: ТРТУ, 2006. – 102 с.

М.В. Хісамутдінов

Фільтрація зображень з ціллю виділення еліпсів

Розроблений алгоритм фільтрації зображень з ціллю виділення еліпсів. Даний алгоритм використовується у системі безконтактного визначення різновидності головок ТВС (СБОР), які знаходяться у водному середовищі активної зони реактора енергоблоку 1 Волгодонської АЕС.

M.V. Hisamutdinov

The Filtration of Images for the Purpose of the Isolation of Ellipses

The algorithm of the filtration of images for the purpose of the isolation of ellipses is developed. This algorithm is used in the system of the noncontact determination of the variation in height of heads TVS, which are located in the aqueous medium in the reactor core of the power unit of 1 Volgadonsk AES.

Статья поступила в редакцию 17.07.2008.